

Список использованных источников

1. Бигеев А.М. Металлургия стали: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1998. – 480 с.
2. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева. Учебник для вузов // А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердов, А.М. Кручинин [и др.]; под ред. А.Д. Свенчанского. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
3. Voronov G.V. Aspects of the aerodynamics in the working space of a modern electric-arc steelmaking furnace / G.V. Voronov, M.V. Antropov, O.V. Porokh // Refractories and Industrial Ceramics. 2014. Vol. 55, № 4. P. 285-287.
4. Воронов Г.В. Газодинамика рабочего пространства современной дуговой сталеплавильной печи / Г.В. Воронов, М.В. Антропов, И.В. Глухов // Новые огнеупоры. 2014. № 11. С. 23-25.
5. Гудим Ю.А. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы: монография / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселёв. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 547 с.
6. Старцев В.А. Скрап-карбюраторный процесс при производстве стали в мартеновских печах / В.А. Старцев, Г.В. Воронов, В.И. Лобанов [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. – 225 с.
7. Казанцев Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополнительное и переработанное. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
8. Рыженков Д.И. Расчеты металлургических процессов на ЭВМ / Д.И. Рыженков, С.Н. Падерин, Г.В. Серов, Л.К. Жидков. – М.: Металлургия, 1987. – 257 с.

УДК 662.76

И. П. Лазебный, П. С. Филиппов, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПГУ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ

Аннотация

В этой статье с помощью программы Aspen Plus моделируется ПГУ с внутрицикловой газификацией с использованием различных конструкций. Модели проверяются соответствующими данными из реальных существующих станций или справочных данных из литературы. Модель состоит из трех отдельных блоков, соединенных воедино. Первый блок состоит из газификатора, который вырабатывает синтез-газ из твердого топлива для сжигания его в газотурбинной установке. Второй и третий блоки представляют из себя паровую и газотурбинную части станции, соответственно. В них происходит процесс выработки электрической энергии. Моделирование внутростанционных процессов показывает некоторые про-

блемы, возникаемые в результате симуляции, связанные в основном с технической составляющей программы. Данное исследование предназначено для предварительной оценки технологий ПГУ с внутрицикловой газификацией, освоение программы Aspen Plus и работы в ней.

Ключевые слова: ПГУ-ВЦГ, Aspen Plus, моделирование процесса, газификация.

Abstract

In this article, using the program Aspen Plus simulated CCGT combined cycle gasification with the use of different designs. The models are verified with relevant data from existing stations or reference data from literature. The model consists of three separate blocks connected together. The first unit consists of a gasifier, which produces synthesis gas from solid fuel to burn it in a gas turbine plant. The second and third blocks represent the steam and gas turbine parts of the station, respectively. There takes place a process of generating electrical energy. Modeling of intra-station processes shows some problems that arise as a result of the simulation, mainly related to the technical component of the program. This study is intended for preliminary assessment of intra-cycle gasification CCGT technologies, Aspen Plus program development and operation in it.

Key words: IGCC, Aspen Plus, process modeling, gasification.

Введение

Мировая газификация по-прежнему продолжает развиваться. Планируются многочисленные проекты установок газификации от таких производителей, как Shell, GE Energy и Siemens Gas Gasification. Поскольку области применения многообразны, а технология очень сложна, предварительное моделирование необходимо, чтобы найти оптимальную конфигурацию установки газификации. Для моделирования сложных внутристанционных процессов, используется программное обеспечение, способное имитировать работу данных установок, таких как Aspen Plus. Этот программный инструмент обладает обширным банком данных о свойствах большинства веществ, а также имеет в себе необходимые термодинамические модели.

1. Моделирование газификатора

Первым шагом моделирования технологии газификации является рассмотрение важных процессов, которые происходят во время газификации. Поскольку уголь или биомасса состоят из сложных структурированных макромолекул, Aspen Plus не может напрямую обрабатывать эти компоненты в химическом или фазовом равновесии. Поэтому топливо должно быть разложено в реакционно-способных соединениях. Это делается в «ректорах», в которых топливо характеризуется элементарным анализом, а также преобразованием его в соответствующий состав.

В реакторе после выхода из газификатора имеется реактор Гиббса, в котором разлагаемое топливо реагирует с кислородом и если требуется, с паром. Соответствующие реакции приведены в таблице.

Что касается видов газа, то типичный газифицированный газовый поток содержит в основном H_2 , CO , N_2 , H_2O и CO_2 . Кроме того, появляется ряд второстепенных видов и микроэлементов, таких как CH_4 , H_2S , COS , HCl , HCN , NH_3 , CS_2 , а также виды металлов (Hg , Se) и щелочных компонентов. Поскольку количество последних четырех видов очень мало, они не рассматриваются в моделировании для улучшения поведения конвергенции модели. Поскольку все газификаторы являются автотермическими, они нуждаются в кислороде, а в случае сухого топлива, также добавления пара.

Сопутствующие реакции в реакторе

№	Реакция	$\Delta H_{R,O}(\text{kJ/mol})$
1	$\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}_2$	-406,3
2	$\text{C} + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO}$	+159,6
3	$\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	-206,2
4	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$	-41,1
5	$\text{H}_2 + \text{S} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$	-20,5
6	$\text{CO} + \text{S} \leftrightarrow \text{COS}$	-27,9
7	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{HCl}$	-184,6
8	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{NH}_3$	-91,9
9	$\text{CO} + \text{NH}_3 \leftrightarrow \text{HCN} + \text{H}_2\text{O}$	+49,8

На рисунке 1 изображена схема газификатора из программы Aspen plus.

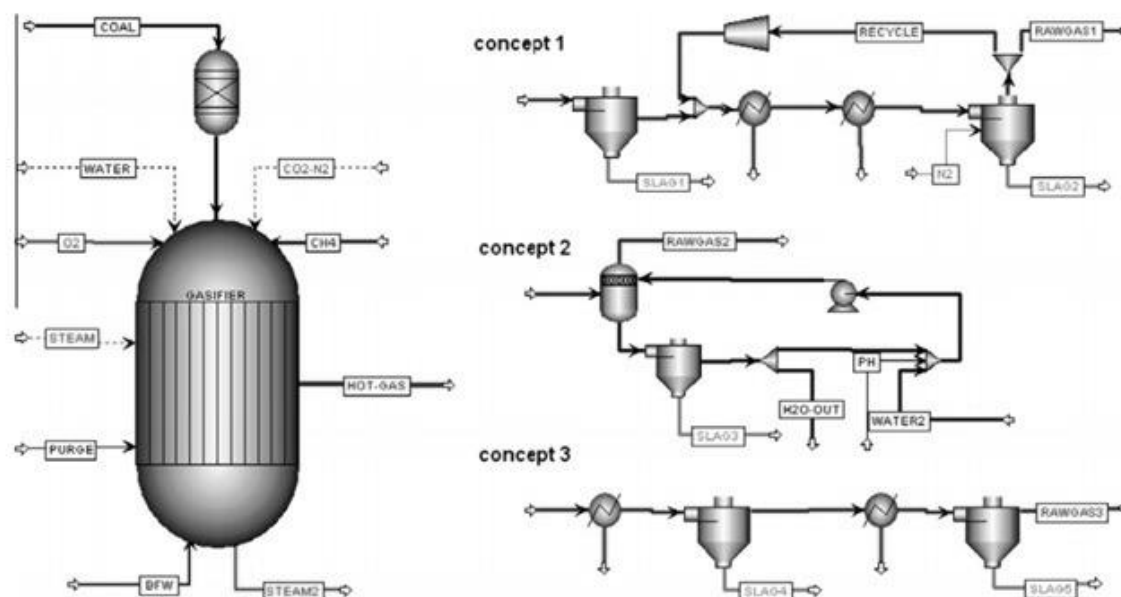


Рис. 1. Схема газификатора, включающего в себя секцию охлаждения

2. Моделирование части ПГУ

Парогазовая установка состоит из двух отдельных частей: газотурбинной и паросиловой. В газотурбинной части вращение турбины происходит за счет газообразных продуктов сгорания, полученных (в данной работе) за счет сжигания газа из газификатора, описанного выше. На одном валу с турбиной находится также генератор, который вырабатывает электрический ток, а также компрессор, сжимающий воздух для горения. На выходе из газовой турбины продукты сгорания попадают в паросиловую часть. Газы имеют высокую температуру и отдают свое тепло в котле-утилизаторе. Этого тепла достаточно, чтобы подготовить пар для использования в паровой турбине, на валу которой расположен второй генератор. Схемы паросиловой и газотурбинной частей изображены ниже на рисунках 2 и 3.

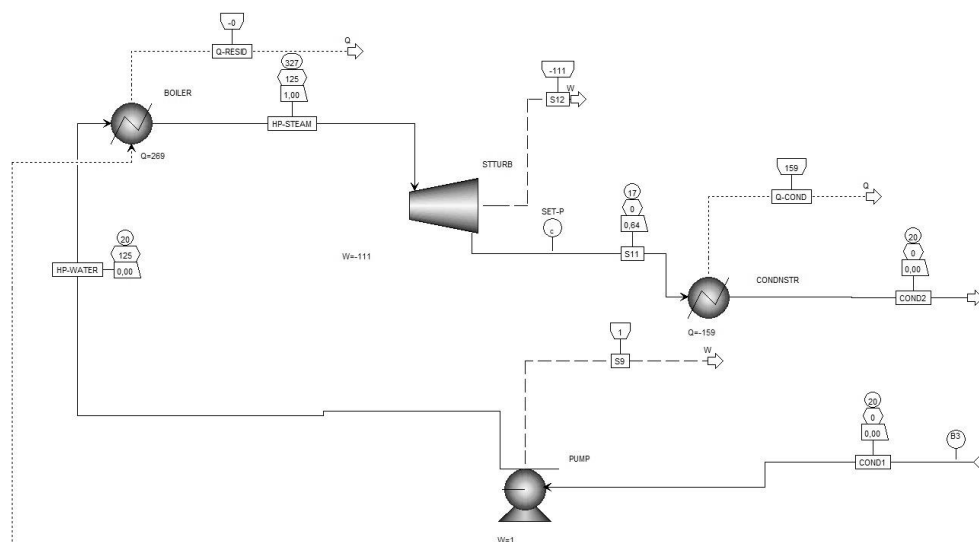


Рис. 2. Схема паровой части ПГУ в программе Aspen Plus

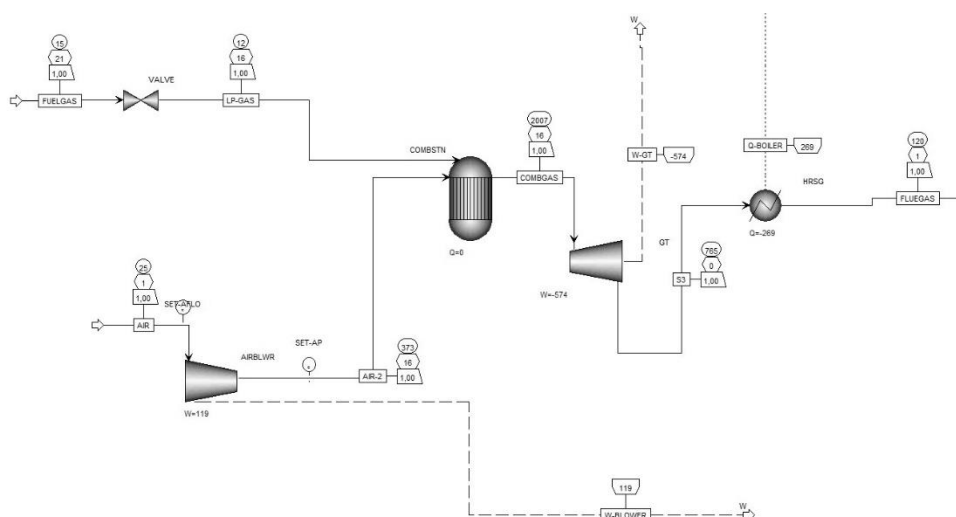


Рис. 3. Схема газовой части ПГУ в программе Aspen Plus

На рисунках можно увидеть все сопутствующие параметры для ПГУ, а именно температуру, расход, давление и другие. Данная схема является основой и все последующие подключения будут сравниваться с этой базовой установкой. Также стоит упомянуть, что программа Aspen Plus позволяет осуществить расчет времени окупаемости станции, стоимость электроэнергии и других эксплуатационных нужд.

3. Результаты моделирования

В ходе работы была построена упрощенная схема ПГУ и ее газифицирующая часть. Был проведен сравнительный анализ технологии ПГУ–ВЦГ, а также оценка работы программы Aspen Plus, ее точность и технологическая пригодность.

Моделирование ПГУ-ВЦГ в программе Aspen PLUS позволяет сделать расчет всего цикла в зависимости от выбранного газификатора и его модификаций. Найти достоинства и недостатки каждого выбранного способа подготовки топлива, конструкции газификатора и его типа. Анализируя полученные при моделировании результаты, можно сказать, что найдены некоторые приемлемые расхождения. А именно, не совсем точные показания выходной мощности газовой

турбины. Однако, данную погрешность можно связать с еще не изученными техническими возможностями программы. Во всем остальном моделирование с помощью программы Aspen Plus можно считать успешным и дальнейшее ее изучение перспективно.

Результаты исследования:

- осуществлено моделирование внутристанционных процессов в программе Aspen Plus;
- получены элементарные характеристики для процессов газификации;
- установлено, что программа Aspen Plus позволяет проводить математического моделирования процессов газификации.

Список использованных источников

1. Абаимов Н.А., Рыжков А.Ф. Разработка модели поточной газификации угля и отработка аэродинамических механизмов воздействия на работу газогенераторов // Теплоэнергетика. 2015. № 11. С. 3.
2. Schingnitz M, Mehlhouse F. The GSP process-entrained flow gasification of different types of coal. // Clean coal technology conference. 2005.
3. Holt N. Operating experience and improvement opportunities for coal based plants // Mater High Temp 20 (2003) 1–6 Contents.
4. Abaimov N.A., Osipov P.V., Ryzhkov A.F. Experimental and computational study and development of the bituminous coal entrained-flow air-blown gasifier for IGCC // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 754. № 11. С. 112001.
5. Ogriseck K. Untersuchung von IGCC Kraftwerkskonzepten mit Polygeneration und CO₂ Abtrennung. Thesis. Technische Universität Freiberg; 2006.
6. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / Екатеринбург: изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.
7. Бобков С.П. Моделирование систем: учеб. пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытнев; Иван. гос. хим.-технолог. ун-т. – Иваново, 2008. – 156 с.

УДК 662.76

В. А. Лаптев, В. М. Скурихин, А. Д. Никитин, А. Ф. Рыжков

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СЛОЯ РЯДОВОГО УГЛЯ

Аннотация

В рамках разработки промышленной технологии производства синтез-газа и активированного угля в CFD-пакете OpenFOAM создана модель гидродинамики слоевого реактора частичной паровой конверсии. Модель основана на законе Форхгеймера, задача Дирихле на входе задавалась массовым расходом, на выходе поддерживалось постоянное атмосферное давление. Для экспериментального определения гидродинамического сопротивления слоя угля со-